

Université Paul Sabatier MASTER 1 STME : mention PHYSIQUE
M1 – Sciences Physiques et Chimiques
2M8PC1M

Physique Atomique et Subatomique :

Septembre 2006

I) Atome de magnésium en couplage L-S (10 points)

Dans tout ce qui suit, on négligera les effets liés au spin du noyau et on considérera que le magnésium est correctement décrit par le modèle du couplage L-S.

La configuration de l'état fondamental de l'atome de magnésium s'écrit: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$.

a) Recenser les multiplets correspondant à cette configuration et aux configurations « excitées » ($3s,4s$) et ($3s,3p$). Justifier le fait que l'on ne prenne en compte que les deux électrons les plus « externes » pour faire ces calculs.

b) Sachant que le hamiltonien de structure fine s'écrit: $H_{SF} = A(L,S)LS$, préciser la base dans laquelle cet hamiltonien est diagonal, calculer l'expression de l'énergie associée et donner la structure fine de chacun de multiplets recensés en a) (valeurs de L,S,J et positions relatives des niveaux de structure fine, A est positif).

Expérimentalement, on observe un « triplet » de transitions entre deux multiplets issus des configurations étudiées ci-dessus (longueurs d'onde: 518,37 nm, 517,27 nm et 516,74 nm.)

c) Quels sont les multiplets mis en jeu? Justifier. Préciser l'état initial et l'état final pour chacune des transitions.

d) A partir des longueurs d'onde expérimentales, calculer la valeur numérique de A pour le multiplet concerné.

e) Comparer le rapport des écarts en énergie expérimentaux avec les valeurs théoriques. Conclusion sur la validité du couplage L-S.

Règles de sélection à appliquer ici : $\Delta S = 0; \Delta L = \pm 1; \Delta J = 0, \pm 1$

$$h \sim 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \quad c \sim 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

II) ETUDE DU CURIUM (4 points)

1. Le Curium ${}^{244}_{96}\text{Cm}$ est un élément radioactif. Ecrire les équations des modes de désintégration α , β^+ et β^- pour cet élément.
2. Après avoir rappelé les conditions énergétiques pour que les trois modes susnommés puissent avoir lieu, indiquer celui (ceux) que peuvent subir le ${}^{244}_{96}\text{Cm}$.
3. On ne s'intéresse qu'à la désintégration α . L'étude expérimentale montre que l'émission des particules α s'accompagne, *dans certains cas*, de celle de photons γ . Expliquer la raison de ce phénomène. La longueur d'onde de ces photons est $\lambda_1 = 0,288 \text{ \AA}$, $\lambda_2 = 0,087 \text{ \AA}$ et $\lambda_3 = 0,042 \text{ \AA}$.

Donner dans tous les cas de figure, l'énergie cinétique (en MeV) des α . Représenter sommairement le spectre des énergies cinétiques.

4. Donner le schéma complet de désintégration α du curium.

Données :

${}^{244}_{96}\text{M}=244,062747u$, ${}^{244}_{95}\text{M}=244,064279u$ (américium), ${}^{244}_{97}\text{M}=244,065160u$ (berkélium),
 ${}^{244}_{94}\text{M}=244,053808u$ (plutonium), ${}^4_2\text{M}=4,002603u$, $m_e = 0,000549u$, $1u = 931,48 \text{ MeV} / c^2$.

III) ETUDE D'UNE CENTRALE NUCLEAIRE (6 points)

Une centrale électronucléaire, fonctionnant à l'uranium 235, produit une puissance électrique de 900 mégawatts.

1. Sachant que la fission d'un noyau ${}^{235}\text{U}$ produit une énergie mécanique de 168 MeV, et que le rendement de conversion de cette énergie mécanique en énergie électrique est de 0,3, calculer le nombre de fissions qui se produisent *par seconde* dans le cœur du réacteur. En déduire la masse d'uranium 235 « consommée » *par an* dans cette centrale.
2. On s'intéresse maintenant aux noyaux de césium 137 qui sont produits par fission dans le réacteur, noyaux qui sont radioactifs, avec une demi-vie de 30 ans. Sachant que 6,18 % des fissions donnent naissance à un noyau ${}^{137}\text{Cs}$, calculer le nombre de noyaux ${}^{137}\text{Cs}$ produits par seconde dans le réacteur.
3. On désigne par K le nombre de noyaux ${}^{137}\text{Cs}$ produits *par fission* et *par unité de temps*, par $N(t)$ le nombre total de noyaux ${}^{137}\text{Cs}$ accumulés dans le combustible du réacteur depuis son chargement à $t = 0$, et par λ la constante radioactive des noyaux ${}^{137}\text{Cs}$. A partir d'un bilan « formation – désintégration » sur l'intervalle de temps élémentaire compris entre t et $t + dt$, établir l'équation différentielle qui régit l'évolution temporelle du nombre de noyaux N . Intégrer cette équation sachant qu'à $t = 0$, le césium est absent du réacteur.
4. Exprimer l'activité radioactive $A = \lambda N$ du césium 137 accumulé dans le cœur du réacteur, et représenter graphiquement son allure en fonction du temps.
5. Application numérique. Calculer, en *Becquerels*, cette activité radioactive du césium 137 après *trois ans* de présence au sein du réacteur. On rappelle que le *Becquerel (Bq)* correspond à *une désintégration par seconde*.
6. A la suite d'un accident majeur, la totalité du ${}^{137}\text{Cs}$ précédent est dispersée dans l'atmosphère, pour finalement retomber au sol. Dans l'hypothèse où ce césium recouvre uniformément une surface circulaire de 2000 km de rayon autour de la centrale, calculer en Bq / m^2 l'activité surfacique résultante. Note : la puissance du réacteur envisagé correspond à celle du réacteur n°4 du complexe de Tchernobyl, théâtre d'un accident majeur le 26 avril 1986. Dans l'est de la France, situé à environ 2000 km de l'accident, des activités surfaciques supérieures à 10000 Bq / m^2 ont été enregistrées en ${}^{137}\text{Cs}$.